Transports Canada
Développement

Transport Canada
Development

TP 8334F

Électrification du branchement Tumbler Ridge

Préparé pour le
Centre de développement
des transports
Transports Canada

par
BC Rail Ltd.

JUIN 1986

CA1
DTC 800
86
T76Z
c.2

Canada

TP 8334F

DTC
CA1
DTC300
86
T16E
C.2

ÉLECTRIFICATION DU BRANCHEMENT TUMBLER RIDGE

Library and Information Centre / Centre de Documentation (GSLA)
RECEIVED - REÇU LE
JAN 24 1989
Transport Canada / Transports Canada

par

H. Lockhart
BC Rail Ltd.

Juin 1986

407253

Les opinions et les vues exprimées dans ce rapport sont celles du contractant et ne reflètent pas nécessairement celles du Centre de développement des transports, Transports Canada.

Also available in English under the title: "Tumbler Ridge Branch Line Electrification Demonstration", TP 8334E.

Transports Canada / Transport Canada
Développement / Development

FORMULE DOCUMENTAIRE DU RAPPORT

1. N° du rapport Transports Canada	2. N° de l'étude — CDT	3. N° de catalogue du destinataire
TP 8334F	4960	

4. Titre et sous-titre	5. Date du rapport
Électrification du branchement Tumbler Ridge	Juin 1986
	6. N° du rapport de l'organisme exécutant

7. Auteur(s)	8. N° de dossier — Transports Canada
H. Lockhart	D 1465-317-18

9. Nom et adresse de l'organisme exécutant	10. N° de dossier — ASC
BC Rail B.P. 8770 Vancouver (C.-B.) V6B 4X6	08SB.T8200-3-3510
	11. N° de contrat — ASC ou Transports Canada 0SB83-00453

12. Nom et adresse de l'organisme parrain	13. Genre de rapport et période visée
Centre de développement des transports (CDT) 200 ouest, boul. Dorchester Tour ouest, suite 601 Montréal (Québec) H2Z 1X4	14. Code de l'organisme parrain 4960

15. Remarques additionnelles	16. Agent de projet — CDT
Également disponible en anglais: Tumbler Ridge Branch Line Electrification Demonstration (TP 8334E).	C.A. Versailles

17. Résumé

Le tronçon de voie ferrée Tumbler Ridge de BC Rail a été construit entre 1981 et 1983 afin de fournir un accès ferroviaire aux gisements de charbon du nord-est de la Colombie-Britannique. Vu les longues pentes et le lourd tonnage, il a été décidé d'électrifier le tronçon plutôt que d'avoir à installer des systèmes complexes de ventilation dans les deux longs tunnels. Ce rapport documente les raisons de l'électrification, l'élaboration, la construction et la mise en service des systèmes d'alimentation et de caténaires, les essais des locomotives électriques, la gestion de puissance et les coûts d'opération et d'entretien.

18. Mots-clés	19. Diffusion
Électrification ferroviaire, conception, construction, alimentation, coûts d'opération et d'entretien, locomotives électriques, caténaire.	Le Centre de développement des transports dispose d'un nombre limité d'exemplaires.

20. Classification de sécurité (de ce rapport)	21. Classification de sécurité (de cette page)	22. Nombre de pages	23. Prix
non classifié	non classifiée	vi, 14	—

Transport Canada / Transports Canada
Development / Développement

REPORT DOCUMENTATION FORM

1. Transport Canada Report No.	2. TDC Project No.	3. Recipient's Catalogue No.
TP 8334F	4960	

4. Title and Subtitle	5. Report Date
Électrification du branchement Tumbler Ridge	June 1986
	6. Performing Organization Report No.
7. Author(s)	8. Transport Canada File No.
H. Lockhart	D 1465-317-18
9. Performing Organization Name and Address	10. DSS File No.
BC Rail P.O. Box 8770 Vancouver, B.C. V6B 4X6	08SB.T8200-3-3510
	11. DSS or Transport Canada Contract No.
	0SB83-00453
12. Sponsoring Agency Name and Address	13. Type of Report and Period Covered
Transportation Development Centre (TDC) 200 Dorchester Blvd. West West Tower, Suite 601 Montreal, Quebec H2Z 1X4	
	14. Sponsoring Agency Code
	4960
15. Supplementary Notes	16. TDC Project Officer
Also available in English: Tumbler Ridge Branch Line Electrification Demonstration (TP 8334E).	C.A. Versailles

17. Abstract

BC Rail's Tumbler Ridge Branch Line was built between 1981 and 1983 to provide rail access to the north-east coal fields in British Columbia. Because of long grades and heavy tonnages, it was decided to electrify the branch line rather than provide complex ventilation systems in the two long tunnels. This report documents the reasons for electrification, the design, construction and commissioning of the power supply and catenary systems, the testing of the electric locomotives, power management and operating and maintenance costs.

18. Key Words	19. Distributionn Statement
Railway electrification, design, construction, power supply, operating, maintenance costs, electric locomotives, catenary.	Limited number of copies available from the Transportation Development Centre on request.

20. Security Classification (of this report)	21. Security Classification (of this page)	22. No. of Pages	23. Price
unclassified	unclassified	vi, 14	—

TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION 1

2. JUSTIFICATION DE LA TRACTION ÉLECTRIQUE 3

3. CONCEPTION ET RÉALISATION 5
   - 3.1 Description 5
   - 3.2 Sous-station et batterie de condensateurs 5
   - 3.3 Caténaire 6

4. LOCOMOTIVES 7

5. ESSAIS D'ACCEPTATION 8

6. GESTION DE L'ÉNERGIE 9

7. COÛTS D'EXPLOITATION ET D'ENTRETIEN 10

8. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS 13

RÉFÉRENCES DOCUMENTAIRES 14

LISTE DES FIGURES

Figure 1 Ligne principale de BC Rail et branchement Tumbler Ridge 2

Figure 2 Subdivision Tumbler 4

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 Coûts d'exploitation et d'entretien des tractions électrique et thermique 1984–1985 10

Tableau 2 Économies annuelles réalisables en fonction des tonnages transportés 11

Tableau 3 Coûts/économies par an de la subdivision Tumbler (en dollars constants) 1984–2003 12

1. INTRODUCTION

En 1976, la British Columbia Railway reçut le mandat d'étudier la faisabilité d'une liaison ferroviaire jusqu'aux gisements de charbon du nord–est de la Colombie–Britannique, qui recèlent d'énormes réserves de charbon "métallurgique" de haute qualité très en demande sur le marché. Ces études, et d'autres faites en 1980, ont montré la faisabilité d'un branchement, long de 130 km; partant de Anzac sur la voie principale, ce branchement desservirait le site minier et pourrait être réalisé au coût de quelque 310 millions de dollars de 1980.

La conception et la réalisation de cette liaison, appelée branchement de Tumbler Ridge, ont commencé lorsqu'un accord de principe a été signé en décembre 1980 sur la fourniture de charbon aux aciéries du Japon. Les appels d'offres pour la réalisation du premier tronçon de 30 km ont été basés sur les données recueillies lors des études de faisabilité. Les travaux de la moitié occidentale du projet ont commencé en juillet 1981, tandis que ceux de la moitié orientale ont été entrepris en octobre 1981, pour les premiers 19 km, et en juin 1982, pour les 33 km restants. Ces travaux ont été achevés en septembre 1983.

En même temps que ces travaux, le creusage de quatre tunnels (deux de grande et deux de petite longueur) a été commencé. Les déblais extraits des tunnels Table (9 km) et Wolverine (6 km) ont servi au remblayage de la plate–forme du chemin de fer. Les travaux de creusage ont été achevés en octobre 1983.

Devant la nécessité d'avoir à assurer la ventilation des deux tunnels, les ingénieurs optèrent pour l'électrification totale du tronçon, d'autant plus que des fonds avaient été consentis par les gouvernements fédéral et provincial. L'avantage de l'électrification est justement d'éliminer les contraintes reliées à la ventilation, avec ses conduites, ses énormes ventilateurs et ses vannes de commande.

Les études en vue de l'électrification du tronçon ont débuté en juin 1982 et les commandes de matériels ont été lancées en mai 1983. Les marchés pour la partie électrique (sous–station, batterie de condensateurs et suspension à caténaire) ont également été adjugés en mai 1983 et les travaux achevés pour la plupart en novembre 1983. Enfin, comme prévu, en décembre de cette même année, les premiers trains charbonniers à traction électrique sont entrés en service.

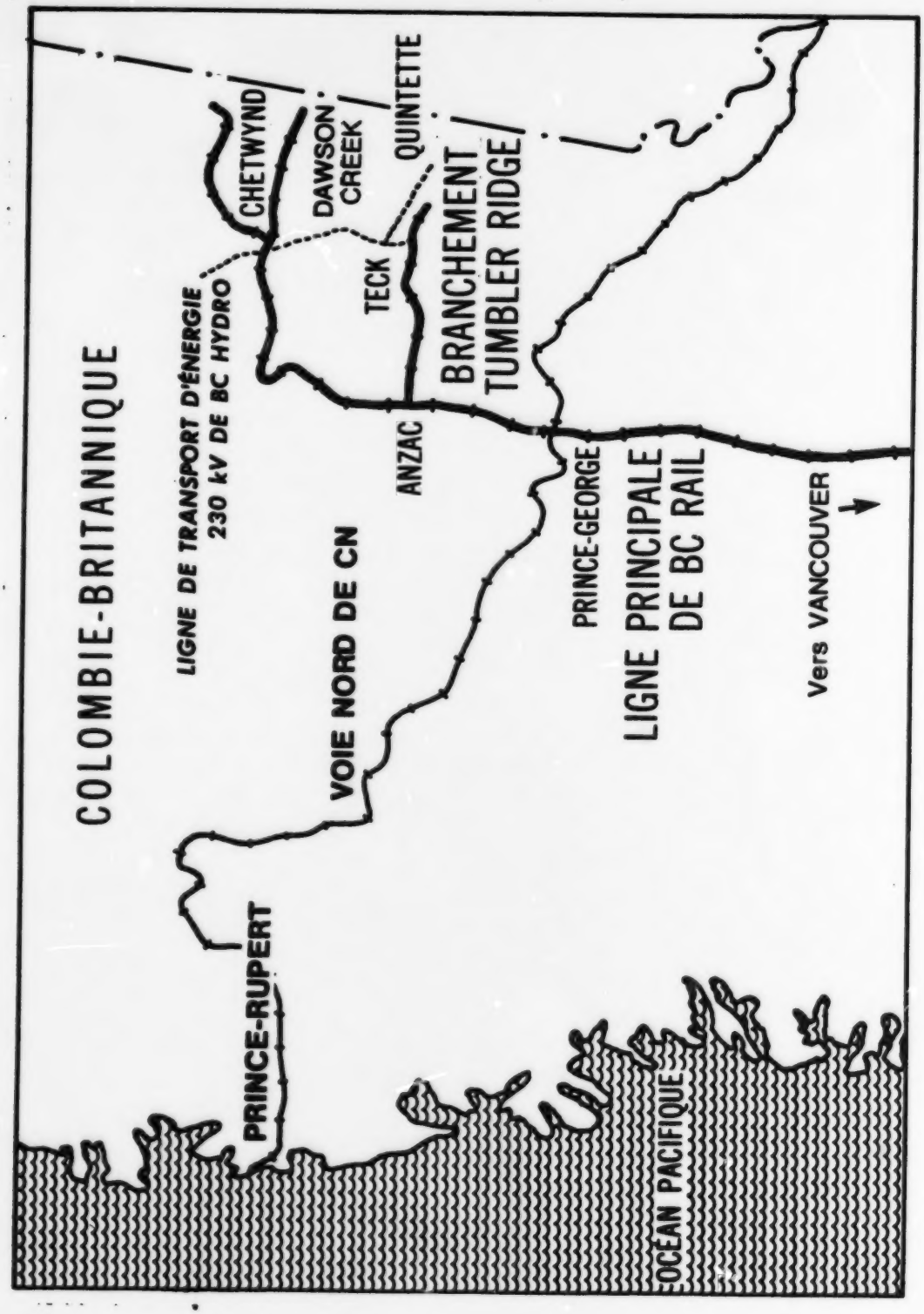

Figure 1 Ligne principale de BC Rail et branchement Tumbler Ridge

2. JUSTIFICATION DE LA TRACTION ÉLECTRIQUE

En vue de justifier un choix aussi radical, deux grands postes de dépenses liés à la traction diesel ont été analysés : approvisionnements en carburant diesel et installation–exploitation d'un système complexe de ventilation dans les deux tunnels. L'étude économique correspondante a été très spécifique, étant donné le tracé en pente particulier du projet et l'existence des tunnels. Par ailleurs, il a été tenu compte du concours financier du CDT et des gouvernements fédéral et provincial au titre des programmes économies d'énergie et énergies renouvelables.

L'électrification de cette liaison a semblé apporter deux grands avantages à caractère énergétique, soit : économies d'énergie réalisables dans le transport du charbon depuis les mines jusqu'au point de raccordement à la ligne principale et utilisation d'une énergie renouvelable au lieu d'un combustible fossile non renouvelable. L'étude menée en 1982 par BC Rail a montré que, à puissance égale, la traction électrique consomme 37 p. 100 de la quantité d'énergie nécessaire à la traction thermique. En effet, il faut à cette dernière 9 330 litres de carburant diesel de bonne qualité pour effectuer un aller et retour, là où la traction électrique utilise 37 MW/h. En d'autres termes, un aller et retour nécessite 360 gigajoules d'énergie thermique comparativement à 133 gigajoules d'énergie électrique, d'où le rapport de 37 p. 100. À raison de 953 allers et retours par année, fréquence maximale prévue dès 1986, et en prenant en compte les coûts d'énergie fin 1982, il a été calculé que, à elles seules, les économies d'énergie atteindraient 729 000 dollars par an.

L'électrification apporte également d'autres économies, soit l'entretien réduit des locomotives et l'élimination de la ventilation dans les tunnels. À défalquer, cependant, de ces avantages: le coût d'entretien de la sous–station ainsi que de la suspension caténaire. Tout compte fait, des économies nettes de l'ordre de 1 535 000 dollars par an ont été prévues; mais elles sont de fait plus substantielles, comme le montre la section 7.

Enfin, d'autres avantages découlent de l'électrification; ils concernent la qualité de l'environnement du fait que la traction électrique est plus propre et moins bruyante et que, dans les tunnels, le personnel de conduite n'aura plus à respirer un air pollué par la fumée des locomotives diesel.

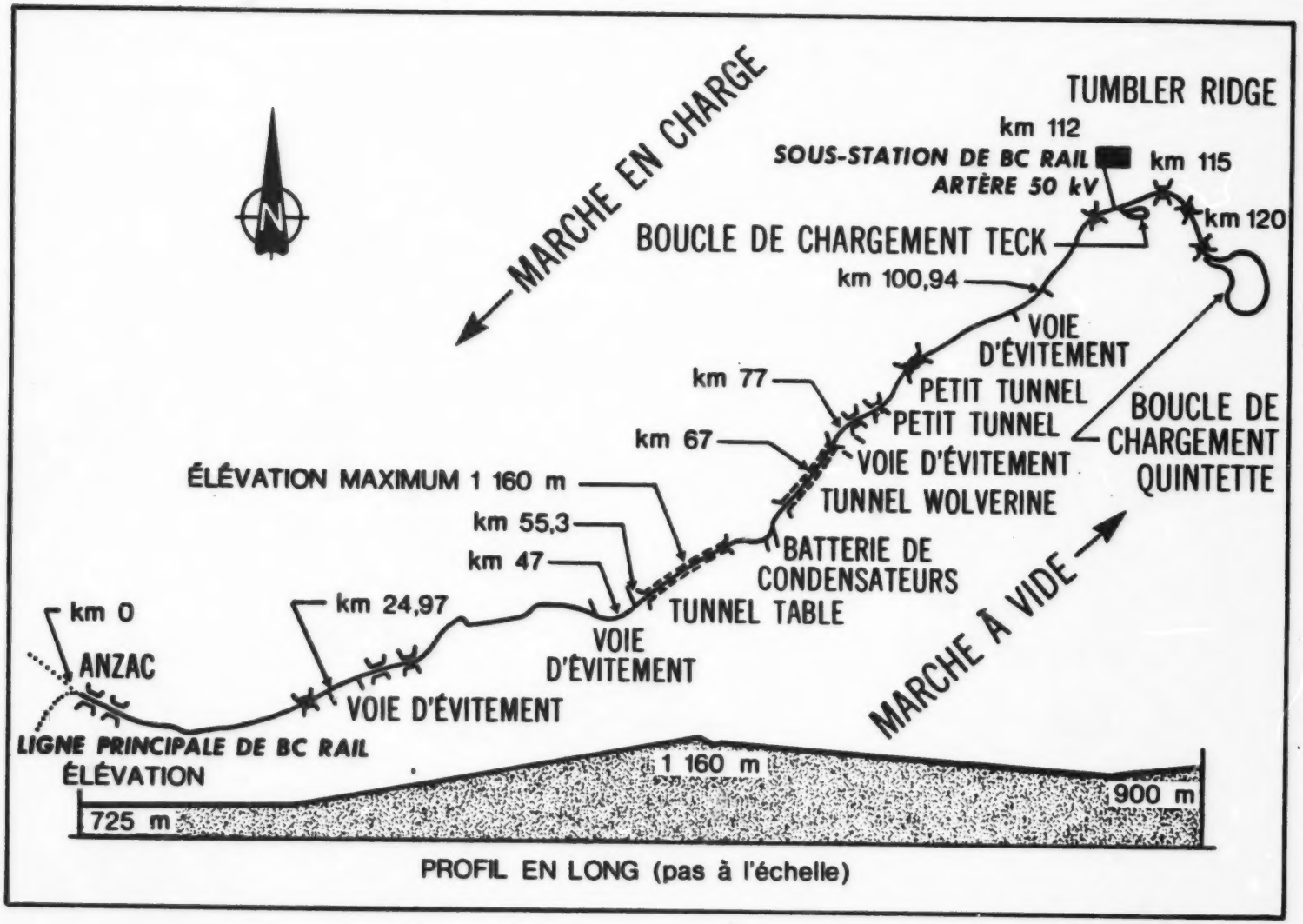

Figure 2 Subdivision Tumbler

3. CONCEPTION ET RÉALISATION

3.1 Description

En mai 1982, BC Rail a commencé les démarches visant à obtenir l'approbation définitive de ce projet par les instances provinciales et fédérales compétentes. En même temps, elle a entrepris de se procurer les principaux éléments du réseau (locomotives, transformateurs principaux) ainsi que les droits de fabriquer au Canada la suspension caténaire de conception suédoise.

Des deux options d'électrification envisagées, soit : électrification partielle ou totale, c'est cette dernière qui a été choisie. Le réseau s'articule donc autour d'une seule sous-station 230/50 kV implantée près du poste de B.C. Hydro à Tumbler Ridge. Le choix de cet emplacement a nécessité la construction d'une artère de 2 km de long pour transporter le courant 50 kV jusqu'au tronçon électrifié.

La sous-station est équipée de deux transformateurs monophasés 230/50 kV conçus pour des puissances de 25/33 MVA et dimensionnés pour suffire séparément à la demande du réseau. Les relais de protection de ce dernier sont implantés dans la sous-station. Quant à la télécommande, au contrôle et au suivi du réseau et de ses divers postes (sous-station, batterie de condensateurs, filtrage, dispositifs de protection), ils sont assurés à partir du bureau central de BC Rail à North Vancouver; ce bureau dispose d'un système d'exploitation à distance informatisé, relié au réseau électrifié par un système de transmission radioélectrique hyperfréquence.

La caténaire est de type simple, c'est-à-dire qu'elle comporte un seul fil de contact en cuivre massif 4/0 suspendu à un fil porteur toronné de grosseur 2/0. Ce système donne de bons résultats à des vitesses allant jusqu'à 100 km/h. Un câble supplémentaire aluminium-acier de 107 mm^2 de section est fixé aux mâts de la caténaire, parallèlement à celle-ci. Le retour du courant est réalisé à travers un câble aluminium-acier de 107 mm^2, les longs rails soudés et la terre.

La caténaire est faite de portions d'environ 25 km de long, chacune étant protégée par un disjoncteur commandé par le système central informatisé. De cette façon, les boucles de chargement peuvent rester sous tension alors que la voie est mise hors tension.

Les locomotives électriques, modèle GF6C, construites par la General Motors du Canada, ont une puissance nominale continue de 3 800 kW, soit l'équivalent d'un moteur diesel d'une puissance maximale de 6 000 HP. Les moteurs de traction sont à excitation séparée et sont asservis à un dispositif antipatinage qui maintient l'adhérence roue/rail à un niveau prédéterminé et donne des coefficients d'adhérence continue de 23 p. 100 et plus, avec un sablage minimal et sans égard aux conditions de service.

3.2 Sous-station et batterie de condensateurs

Les travaux de terrassement du site de la sous-station au km 112 se sont déroulés en même temps que ceux de la voie ferrée, réalisés par le même entrepreneur. Le Bureau d'études, le Service matériels et le Service achats de BC Rail se sont partagés les tâches d'élaborer le cahier des charges, d'examiner les soumissions et de lancer les commandes concernant les principaux éléments de la sous-station. La mise en place des équipements commença le 24 mai 1983 et la mise sous tension s'est faite le 7 novembre de la même année.

La batterie de condensateurs a été fournie et installée par un même fournisseur, en vertu d'un marché clé en main. Les essais d'acceptation suivis de la mise en service de la batterie eurent lieu en novembre 1983.

Toutes les fonctions de contrôle, d'essai et d'acceptation ont été assurées par BC Rail.

3.3 Caténaire

BC Rail a commandé elle-même les supports de la caténaire dans le but de tirer profit des économies d'échelle découlant de l'achat massif de pièces identiques auprès d'un même fabricant, plutôt que de répartir les achats entre trois ou quatre. Cette tactique a eu de plus l'avantage d'assurer un meilleur contrôle de la qualité en cours de fabrication. Le matériel livré aux magasins de PrinceGeorge y a été trié et séparé en lots élémentaires, c'est-à-dire correspondant chacun à un mât particulier. BC Rail a eu recours à un programme informatique élaboré par son bureau d'études pour organiser les livraisons de cette manière, lequel programme a été par la suite élargi pour servir d'outil de gestion de l'entretien normal de la caténaire.

La mise en place de cette dernière s'est déroulée en deux temps. Tout d'abord, l'installation des mâts sur des fondations déjà prêtes; ensuite, la suspension de la caténaire.

La mise en place des fondations et l'installation des mâts ont été partagées également entre le Service entretien de BC Rail et un sous-traitant local. Ce travail consistait à enfoncer des pieux de faible longueur dans le sol, à souder une base métallique à ces pieux, à installer les mâts et à en vérifier la verticalité. Là où les pieux ne pouvaient être enfoncés à la profondeur voulue, on a utilisé une semelle préfabriquée en béton ou des tirants scellés dans le roc. Ces trois types de fondations sont explicités en détail dans la référence documentaire n° 4.

La suspension de la caténaire a suivi. Pour cela, les entrepreneurs utilisèrent un camion caténaire rail-route à plate-forme transportant deux rouleaux de câbles déroulés à une tension mécanique contrôlée. Ensuite, les pendules ont été positionnés le long de la caténaire, les fils tendus au maximum et les consoles calées perpendiculairement à la voie. Enfin, le réglage fin du désaxement du fil par rapport à la voie a été effectué. Ce travail a été accompli selon les techniques classiques de pose des fils électriques.

En novembre 1983, la portion de caténaire entre le km 24 et les boucles de chargement a été posée, ce qui a permis la circulation des premiers trains électrifiés dès le mois suivant, comme prévu. Quant à la portion de caténaire du tronçon de 30 km entre le km 24 et le branchement à Tacheeda, elle a été accrochée entre avril et mai 1984 par les services compétents de BC Rail.

Pour ce travail, BC Rail a utilisé un matériel roulant modifié au lieu du camion rail-route, ajoutant ainsi à l'expérience déjà acquise dans le domaine des suspensions de caténaires. Grâce à ce matériel et à un meilleur contrôle sur la main-d'oeuvre et les techniques de pose, le coût de suspension de la caténaire a été de 35 p. 100 inférieur à celui prévu dans les soumissions. Quant au matériel roulant modifié, BC Rail s'en sert maintenant pour l'entretien normal ainsi qu'en construction neuve.

4. LOCOMOTIVES

Lancés en 1982, les appels d'offres pour la fourniture des locomotives électriques ont débouché sur une adjudication remportée par la General Motors du Canada. Le choix de ce fournisseur s'explique par l'effort de traction plus grand en régime continu du matériel GM, conçu en étroite collaboration avec ASEA Traction de Suède et, aussi, par les bons antécédents de ce matériel.

Les sept locomotives (modèle GF6C) fournies par GM peuvent être utilisées en unité simple ou en groupe d'au plus six unités. L'alimentation monophasée se fait sous 50 kV, 60 Hz, la tension étant abaissée par un transformateur et le courant redressé pour alimenter les six moteurs de traction E88 de chaque locomotive en courant continu, d'intensité et de tension maximales de 1 042 A et 1 115 V, respectivement. Le réglage de la tension redressée étant assuré par des thyristors, chaque locomotive peut fournir un effort de traction continu maximal de 400 kN à 34,5 km/h, soit l'équivalent de l'effort assuré par une locomotive diesel classique de 6 000 HP. Un dispositif antipatinage contrôlé par radar permet l'application en douceur de l'effort de traction aux rails.

Ces locomotives, qui pèsent chacune 180 859 kg et mesurent 20,98 m de long, sont peintes d'une combinaison de couleurs rouge, blanc et bleu, leurs organes de roulement étant de couleur argent.

Les deux premières locomotives ont été livrées fin 1983. Les essais de la locomotive 6001 ont commencé en novembre 1983 et ont pris fin en mars 1984. Ils ont été effectués pour la plupart sur le tronçon situé entre les kilomètres 81,3 et 84,5, caractérisé par une rampe compensée de 1,2 p. 100 et des courbes d'au plus 6°. Un nombre restreint d'essais ont également été effectués sur un tronçon ayant une rampe de 1,5 p. 100.

Une voiture d'enregistrement ET840 de la General Motors, attelée à la locomotive 6001, a servi à la collecte des données. À bord, des enregistreurs numériques et analogiques multicanaux alimentaient divers appareils de traitement des signaux, pilotés par un ordinateur. Des enregistreurs graphiques et une imprimante complétaient cette chaîne d'enregistrement.

Le principal paramètre mesuré a été celui de l'adhérence à régime continu, dans des conditions variables de voie et de température. Ainsi, la locomotive et la voiture d'enregistrement ont été attelées à un groupe de propulsion formé de trois ou quatre locomotives diesel actionnant leur freinage dynamique de façon à simuler la résistance d'un train chargé. Les essais d'accélération se sont faits d'abord avec une locomotive, la voiture d'enregistrement et un train comportant quatre fois moins de wagons chargés que la normale et, ensuite, avec quatre locomotives électriques, la voiture d'enregistrement et un train complet chargé.

Les locomotives électriques mises en service étaient équipées d'un système novateur de commande à distance de la marche dans les boucles de chargement. Dans d'autres mines, les trains qui arrivent sont pris en charge par un préposé qui, à bord de la locomotive, en commande la marche pendant les quatre heures que dure le chargement. Dans le cas des locomotives électriques exploitées par BC Rail, le système de télécommande libère de cette obligation, la marche du train étant commandée à distance par le préposé. Par ailleurs, ce système assure l'abaissement automatique des pantographes lorsque que le train s'engage dans des tronçons non électrifiés (les boucles de chargement et les passages sous gabarit, par exemple).

5. ESSAIS D'ACCEPTATION

À l'issue de chacune des phases de réalisation du réseau électrifié, des essais d'acceptation ont été entrepris, portant notamment sur les sept éléments suivants :

1. sous-station 230/50 kV;
2. artère d'alimentation 50 kV;
3. caténaire;
4. batterie de condensateurs;
5. poste de filtrage;
6. système de télécommande et de contrôle;
7. alimentation des appareils de voie 50 kV, 240/120 V.

Les essais d'acceptation se sont déroulés en deux étapes. La première visait le matériel hors tension, le contrôle portant sur la conformité de l'installation aux plans et aux spécifications du fabricant, afin de s'assurer qu'il serait sécuritaire et fiable en service.

La deuxième concernait la mise sous tension de chaque élément séparément, à concurrence de sa tension nominale, et leur essai de fonctionnement. Les essais d'acceptation sous tension ayant été réussis, le matériel était prêt à être mis en service.

6. GESTION DE L'ÉNERGIE

En décembre 1983, les essais d'acceptation étaient pratiquement achevés lorsque le branchement Tumbler Ridge a été déclaré opérationnel et rebaptisé subdivision Tumbler, devenant ainsi partie intégrante du réseau ferroviaire. Afin de respecter le calendrier des départs maritimes, deux trains ont été mis en service; ils roulaient à vide en direction nord, entre Tacheeda et Tumbler, faisaient le plein à une de ces deux boucles de chargement, puis repartaient chargés en direction sud entre Tumbler et Anzac.

Chaque train se compose de deux locomotives électriques, de 98 wagons et d'un wagon de queue, pour un poids total en charge de 11 718 tonnes. Afin d'aider le train chargé à gravir la rampe entre les kilomètres 98 et 69, une traction supplémentaire est fournie par deux locomotives électriques d'appoint fonctionnant en poussée.

Le coût de l'énergie électrique consommée par les locomotives est fondé sur le coût de l'énergie totale consommée, auquel s'ajoute une prime de puissance fonction de la puissance la plus élevée appelée par période (normalement de 30 minutes chacune). Cette prime est relativement élevée, comparativement au coût de l'énergie totale consommée. Il est donc dans l'intérêt de la société de chemin de fer de réduire au minimum ces pointes de puissance coûteuses.

Dans le but de rationaliser les coûts d'exploitation, BC Rail a procédé à des essais de simulation de marche visant à établir les grilles horaires les plus et les moins favorables sous ce rapport. Dans le premier cas, nul besoin de gestion de l'énergie puisque les trains fonctionnent selon l'horaire optimal. Or, dans la pratique, les choses se passent rarement ainsi. Des changements dans les ordres de marche sont souvent inévitables pour plusieurs raisons : retards au chargement, incidents et entretien à l'intérieur de la subdivision et incidents ou retards durant le long parcours entre Tacheeda au nord et Ridley Island, près de Prince Rupert, au sud. Il peut donc advenir une situation où deux trains doivent gravir une rampe en même temps, occasionnant un appel de puissance plus élevé que la normale.

Afin de pouvoir gérer efficacement les puissances de traction disponibles, les gestionnaires doivent connaître à tout moment la quantité d'énergie consommée. C'est là que le système informatisé de télécommande et de contrôle entre en jeu, déclenchant une alarme dès que le seuil de consigne préétabli est dépassé. Ce seuil de consigne est réglé de manière à donner aux gestionnaires le temps de lancer de nouvelles instructions aux trains en vue de réduire la consommation énergétique et de garder ainsi les appels de puissance à l'intérieur des limites acceptables.

Lorsque le seuil critique est sur le point d'être dépassé, le gestionnaire, qui peut être le répartiteur ou le chef d'exploitation, doit décider s'il y a lieu de modifier la marche du train, arbitrant entre le montant total des primes de puissance exigibles pour le mois courant et les coûts associés à un retard dans la livraison (surcoût de main-d'oeuvre et manque à gagner, par exemple). Le cas échéant, le gestionnaire, qui peut à tout moment communiquer par radio avec les trains, lancera l'ordre à un train donné de réduire la quantité d'énergie qu'il consomme en actionnant les limitateurs de puissance à bord des locomotives.

Les consommations d'énergie sont enregistrées sur des papiers diagrammes soumis à un suivi constant. En comparant ces données avec les valeurs archivées par les services techniques compétents, le gestionnaire peut, à bon escient, décider des changements à apporter aux horaires ou à l'allure d'un train pour assurer une gestion optimale de l'énergie électrique disponible.

7. COÛTS D'EXPLOITATION ET D'ENTRETIEN

Le tableau 1 donne pour 1984 et 1985 les coûts d'exploitation et d'entretien de la subdivision Tumbler, dans les deux cas de traction : électrique et thermique. Le tableau 2 montre les économies nettes réalisables par an en fonction des tonnages transportés à partir de 1986, à la lumière des coûts de construction consentis et des coûts d'exploitation dégagés en 1984 et 1985. Quant au tableau 3, il présente un sommaire financier montrant que le rendement du capital consacré à l'électrification proprement dite est de 62,85 et de 20,25 p. 100, selon que les travaux se font avec ou sans subventions gouvernementales.

Tableau 1 Coûts d'exploitation et d'entretien des tractions électrique et thermique, 1984 et 1985

	ÉLECTRIQUE	THERMIQUE	ÉCONOMIES (COÛTS)
1984 (5,3 millions de tonnes — 588 voyages)[1]			
Énergie[3]	3 242 000	2 730 000	(512 000)
Entretien			
Locomotives[5]	1 050 000	700 000	(350 000)
Appareillage d'alimentation et caténaire	495 000		(495 000)
Ventilation des tunnels		220 000	220 000
	4 787 000	3 650 000	(1 137 000)
1985 (7,6 millions de tonnes — 851 voyages)[2]			
Énergie[4]	3 768 000	4 100 000	332 000
Entretien			
Locomotives[5]	986 000	1 050 000	64 000
Appareillage d'alimentation et caténaire	515 000		(515 000)
Ventilation des tunnels		230 000	230 000
	5 269 000	5 380 000	111 000

[1] En dollars de 1984.

[2] En dollars de 1985.

[3] Électricité: coût effectif en dollars de 1984. Thermique: au prorata du nombre de voyages effectués, en dollars de 1984.

[4] Électricité: coût effectif en dollars de 1985. Thermique: au prorata du nombre de voyages effectués, en dollars de 1985.

[5] Locomotives électriques: comprend le coût de l'entretien des locomotives thermiques au prorata du nombre de voyages effectués en thermique. Locomotives thermiques: au prorata du nombre de voyages effectués en thermique.

Tableau 2 Économies annuelles réalisables en fonction des tonnages transportés

	8,5 MT/an (953 voyages/an)		13,5 MT/an (1 514 voyages/an)		17 MT/an (1 906 voyages/an)	
	Électrique	Thermique	Électrique	Thermique	Électrique	Thermique
Investissements						
Locomotives[1]	18 366	17 000	26 160	25 500	26 160	25 500
Appareillage d'alimentation et caténaire[2]	31 420	—	31 420	—	31 420	—
Ventilation des tunnels[2]	—	21 700	—	21 700	—	21 700
	49 786	38 700	57 580	47 200	57 580	47 200
Entretien						
Locomotives	622	1 181	888	1 872	888	2 362
Appareillage d'alimentation et caténaire	345	—	345	—	345	—
Ventilation des tunnels	—	230	—	230	—	230
	967	1 411	1 233	2 102	1 233	2 592
Coût de l'énergie	1 407	4 596	1 818	7 302	2 105	9 193
Total Entretien + Énergie	2 374	6 007	3 051	9 404	3 338	11 785
Économies nettes annuelles	3 633		6 353		8 447	

[1] Les coûts d'achat sont en dollars de 1983. Tous les autres, en dollars de 1985.

[2] Les intérêts exigibles durant la phase construction sont compris.

Tableau 3 Coûts/économies par an de la subdivision Tumbler (en dollars constants) 1984–2003

ANNÉE	COÛT DE L'ÉLECTRIFICATION		ÉNERGIE	ENTRETIEN DES LOCOMOTIVES	ENTRETIEN VENTILATION DES TUNNELS	ENTRETIEN DE LA CATÉNAIRE	TOTAL
	avec subvention	sans subvention					
1983	(1 523 000)	(11 086 000)					
1984			(512 000)	(350 000)	220 000	(495 000)	(1 137 000)
1985			332 000	64 000	230 000	(515 000)	111 000
1986			3 189 000	559 000	230 000	(345 000)	3 633 000
1987			3 189 000	559 000	230 000	(345 000)	3 633 000
1988			3 189 000	559 000	230 000	(345 000)	3 633 000
1989			3 189 000	559 000	230 000	(345 000)	3 633 000
1990			3 189 000	559 000	230 000	(345 000)	3 633 000
1991			3 189 000	559 000	230 000	(345 000)	3 633 000
1992			3 189 000	559 000	230 000	(345 000)	3 633 000
1993			3 189 000	559 000	230 000	(345 000)	3 633 000
1994			3 189 000	559 000	230 000	(345 000)	3 633 000
1995			3 189 000	559 000	230 000	(345 000)	3 633 000
1996			3 189 000	559 000	230 000	(345 000)	3 633 000
1997			3 189 000	559 000	230 000	(345 000)	3 633 000
1998			3 189 000	559 000	230 000	(345 000)	3 633 000
1999			3 189 000	559 000	230 000	(345 000)	3 633 000
2000			3 189 000	559 000	230 000	(345 000)	3 633 000
2001			3 189 000	559 000	230 000	(345 000)	3 633 000
2002			3 189 000	559 000	230 000	(345 000)	3 633 000
2003			3 189 000	559 000	230 000	(345 000)	3 633 000
	(1 523 000)	(11 086 000)	57 222 000	9 776 000	4 590 000	(7 220 000)	62 845 000

Rendement financier avec subvention : 62,8495 p. 100
sans subvention : 20,2548 p. 100

8. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

L'électrification du branchement Tumbler Ridge a mis en évidence les avantages de l'alimentation sous 50 kV dans le cas d'une ligne caractérisée par un trafic lourd, des rampes prononcées, des tunnels longs et des conditions météorologiques rigoureuses.

Un réseau 50 kV nécessite moins de points de raccordement au réseau HT que les systèmes fonctionnant à des tensions plus basses, comme dans l'Est du Canada, aux États-Unis et en Europe. Dans ces régions, la forte concentration de population aidant, les réseaux HT sont beaucoup plus rapprochés, de sorte qu'il est plus facile de raccorder un grand nombre de sous-stations d'alimentation forcément moins espacées.

L'électrification basse tension ne convient pas aux régions peu peuplées du Canada. En effet, à cause des grandes distances séparant les lignes de transport, les liaisons entre celles-ci et les sous-stations seraient trop longues. L'alimentation 50 kV utilisée pour l'électrification du branchement Tumbler Ridge exige seulement 25 à 50 p. 100 des sous-stations requises pour une alimentation basse tension.

Outre le cas présent, il n'existe dans le monde que deux autres lignes alimentées à 50 kV: une aux États-Unis, longue de 126 km, pour le transport du charbon entre Black Mesa et Lake Powell en Arizona, et une en Afrique du Sud, longue de 860 km, reliant Sishen à Saldanha Bay. Les autres secteurs où il serait intéressant d'implanter un réseau 50 kV seraient la région des Rocheuses et le corridor très peuplé Montréal–Toronto.

Toute l'expérience acquise dans la réalisation du projet Tumbler Ridge a été mise à la disposition des autres sociétés de chemin de fer, par l'entremise du Comité consultatif ferroviaire de l'Association des chemins de fer du Canada. Cette dernière organise périodiquement des assemblées au cours desquelles on fait le point sur les progrès réalisés dans les techniques ferroviaires. Le Centre de développement des transports, Transports Canada, joue également un rôle actif dans la diffusion de cette information. De plus, le service d'information de BC Rail a rassemblé une documentation exhaustive, organisée sous forme de films, rapports, mémoires et diapositives. Une liste de références est donnée à la page 14.

La réalisation de ce projet a fait ressortir un certain nombre de questions dont il faudra tenir compte à l'avenir. Ces questions ont trait, entre autres, à la formation préalable des exécutants, au groupage des pièces et au bon ordonnancement de la mise en place de la caténaire.

Un programme de formation préalable permettrait aux exécutants de se familiariser avec la multitude de pièces entrant dans la construction du réseau, de maîtriser l'assemblage de celles-ci et de se mettre au courant des consignes de sécurité.

Un contrôle serré des pièces entrant dans la construction de la caténaire est indispensable afin d'éviter tout retard dû à l'absence ou au déroutage des pièces. Un programme informatique a été élaboré dans ce but. Il permet de produire rapidement la liste des pièces nécessaires à la construction ou à la réparation de mâts particuliers ou d'un groupe donné de mâts, en plus de constituer un outil précieux dans la gestion de l'entretien.

Un bon ordonnancement de l'ensemble des travaux est nécessaire pour éviter les conflits entre les divers corps de métier (entretien des rails et de l'infrastructure de la voie, suspension de la caténaire) dont les tâches doivent se dérouler sans interruption.

RÉFÉRENCES DOCUMENTAIRES

1. 995 Days. Film rendant compte de la réalisation du branchement électrifié. Production BC Rail pour le compte du Centre de développement des transports.

2. 50 kV Electrification of the British Columbia Railway Tumbler Ridge Branch Line. Réalisé dans le cadre de l'accord sur le Programme de démonstration, Directions économies d'énergie et énergies renouvelables de la Colombie-Britannique, et Énergie, Mines et Ressources Canada, par BC Rail, mars 1984.

3. The Construction of BC Rail's Tumbler Ridge Branch Line Catenary System. Rapport provisoire fait pour le Centre de développement des transports, par H. Lockhart, BC Rail, janvier 1986.

4. Design, Construction and Performance Monitoring of Electrification Poles and Foundations on BC Rail's Tumbler Ridge Branch Line. Fait pour le Centre de développement des transports (TP 5830E), par J.C. Leighton, BC Rail, novembre 1984.

5. Electric Locomotive Performance Tests on the BC Rail Tumbler Ridge Branch Line. Fait pour le Centre de développement des transports (TP 6203E), par P.H. Bridge, BC Rail, février 1985.

6. Electrification of the Tumbler Ridge Branch Line. Rapport final fait pour le Centre de développement des transports (TP 7625E), par H. Lockhart, BC Rail, juin 1986.

7. Interim Report on Power Management of BC Rail's Tumbler Ridge Branch Line Electrification. Rapport provisoire fait pour le Centre de développement des transports, par P.H. Bridge, BC Rail, février 1985.

8. Planning and Construction of the Tumbler Ridge Branch Line, Institut canadien des mines, par V.W. Shtenko, B.J. Ennis et P.H. Bridge, BC Rail, mai 1983.

9. Tumbler Ridge Branch Line Electrification Interim Commissioning Report. Rapport provisoire fait pour le Centre de développement des transports, par J. Popoff, BC Rail, avril 1984.